心理科学进展 2023, Vol. 31, No. 12, 2295–2305
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2023.02295

· 研究前沿(Regular Articles) ·

新生儿对语音的感知、辨别和学习*

李思瑾 王庭栋 彭芝琳 张丹丹

(四川师范大学脑与心理科学研究院, 成都 610066)

摘 要 新生儿自娩出起便开始利用臻于成熟的听觉系统对语音的各要素进行大脑表征和学习记忆。考察新生儿语音加工特点, 不仅能揭示语言功能在人类发展最初阶段的认知神经机制, 还能对自闭症等神经发育性疾病的早期预警和临床诊断提供有价值的线索。我们回顾并总结了新生儿对语音的感知、辨别和学习以及语言发展对自闭症的预测作用, 发现新生儿对特定语音存在感知偏好; 新生儿具备独特的音素辨别能力; 婴儿期语言加工的脑功能或结构指标对自闭症具有一定的预测价值。我们建议未来研究从三个方面开展工作。在基础研究方面: 第一, 严格控制语音材料的韵律因素, 重新审查新生儿语言加工特征及大脑偏侧化问题; 第二, 揭示新生儿语音学习的认知神经机制以及睡眠的记忆巩固作用。在临床转化研究方面, 以高风险自闭症新生儿为追踪对象, 基于纵向多模态脑观测数据, 建立疾病风险评估系统, 揭示出生早期语言发展脑指标对自闭症的预测价值。

关键词 新生儿, 母语偏好, 左偏侧化, 语言发展, 自闭症
分类号 B844

1 引言

语言是人类沟通交流的最主要的方式。“语言是如何发展的? 大脑的哪些部分对其进行控制? ”这既是 *Science* 于 2005 年和 2021 年前后两次提出的 125 个前沿科学问题之一, 也是心理学家和语言学家关注的重要课题。语音是语言的重要载体, 人们首先需要感知语音, 才能掌握发音, 进而使用语音向他人传达语义。人类胎儿通常在胎龄满 37~42 周时出生, 从出生至 28 日龄称为新生儿, 从 29 日龄到 12 月龄称为婴儿, 1~3 岁称为幼儿。在语言能力的发展进程中, 新生儿处于语音感知的关键阶段, 本文主要关注新生儿对语音的感知、辨别和学习。

听觉系统早在胎龄 24 周时就开始工作(Hepper & Shahidullah, 1994), 这让胎儿可以“听”到子宫外的声音, 但这些声音经过母体组织的低通滤波而失去了高频段特征。直到出生的那一刻, 新生儿才直接暴露于语言环境, 从此他们便开始利用臻于成熟的听觉系统对语言的各个要素进行大脑表征和学习记忆。新生儿具有极强的音素辨别能力, 他们能区分不同语种中的元音和辅音; 经过几个月的母语暴露, 婴儿会对母语的音素更加敏感, 但他们从此难以辨别外语的音素(Cheour et al., 1998; Kuhl, 2010; Werker et al., 2012)。在这个快速的“认知窄化”过程中, 语言学习扮演了非常重要的作用。而在认知窄化之前, 新生儿对不同语种音素的高度敏感性, 则体现了人类早期语言发展过程中最独特的语言感知和语言辨别能力。考察新生儿对语音的感知、辨别和学习, 不仅能揭示语言功能在发展最初阶段的认知神经机制, 帮助构建发展语言学和发展心理学的相关理论, 还能对自闭症等神经发育性疾病的早期预警和临床诊断提供有价值的线索。

2 新生儿对语音的感知偏好

早期的新生儿和婴儿研究通常采用“习惯化–去习惯化范式”并以“奶嘴吮吸频率”为指标。实验

收稿日期: 2023-04-03
* 国家自然科学基金(32271102、31970980、31920103009)和深港脑科学创新研究院基金(2022SHIBS0003)资助。
通信作者: 张丹丹, E-mail: zhangdd05@gmail.com

者先让被试熟悉特定的语音材料，这一“习惯化”的过程通常伴随被试吮吸奶嘴频率的逐渐下降；接着给被试播放新异的语音材料，如果发现被试的奶嘴吮吸频率突然升高，则表明被试能感知到新旧语音材料的差异，即新语音材料引起了“去习惯化”过程。利用这一范式，大量行为学研究发现，新生儿对语音、母语以及母亲的声音均具有感知偏好(见综述：于文汶 等, 2022; 周玉, 张丹丹, 2017)。简言之，在“去习惯化”过程中，新生儿在收听语音时吮吸奶嘴的频率比收听非语音时显著更高，这说明他们对前者有更多的注意偏好(Vouloumanos & Werker, 2007)；而相比于外语，新生儿听母语时吮吸奶嘴的频率更高(Mehler et al., 1988; Moon et al., 1993)。还有研究对比了母亲和其他女性的声音，发现新生儿更喜欢前者，他们听前者时吮吸奶嘴的频率更高(deCasper & Fifer, 1980)。

由于新生儿无法遵循指导语进行有意识的主动行为输出，因此行为学指标容易受到实验任务不相关因素的干扰。与行为学研究不同，随着脑观测技术的不断进步，近年学者们可以利用脑电和功能近红外光谱成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)等方法直接观察新生儿大脑对语音的感知过程。其中脑电方法主要采用事件相关电位技术并借助 oddball 范式，关注“失匹配反应”成分(mismatch response, MMR)，该成分是成人失匹配负波(mismatch negativity, MMN)的早期形态。例如，Beauchemin 等(2011)发现母亲的声音比其他女性的声音能在新生儿大脑诱发波幅更大、潜伏期更短的 MMR。与脑电技术相比，fNIRS 技术能帮助我们揭示新生儿大脑在语音加工中的敏感性和特异性皮层区域。基于 fNIRS 的元分析(陈钰 等, 2020)表明，新生儿感知语音的脑区主要为额叶、颞叶、下顶叶，且具有左侧化优势，同时此左偏侧化脑激活还受到实验对比条件的影响：将非语音(口哨交流声等)与外语进行比较时，新生儿的颞叶和额叶对外语有更强的脑激活，在外语条件下表现为左偏侧化(May et al., 2018)；将母语和外语进行比较时，虽然两种语音均激活了新生儿的双侧颞叶，但母语条件下左侧颞叶的激活强于右侧(Kotilahti et al., 2010; May et al., 2018; Peña et al., 2003; Sato et al., 2012; Vannasing et al., 2016)。语言加工的左侧化优势不但体现在脑功能层面，新生儿(含 29 孕周以上的早产儿)的颞叶在形态上也具有左侧化优势(见综述 Bisiacchi & Cainelli, 2022)。例如有研究发现新生儿的语言脑区(主要是颞上和额下脑区)在皮层面积和厚度等指标上均具有左侧化优势(Li et al., 2014)，且语言脑网络在左半球具有更高效的结构性连接(Ratnarajah et al., 2013)，新生儿左半球白质纤维的连通性可预测婴儿 12 月龄时句法等语言能力的发展水平(Sket et al., 2019)。

3 新生儿对语音要素的辨别

除了上述语音感知偏好，新生儿还具有极强的音素辨别能力，他们能分辨不同语种的元音和辅音(注：音素分为元音和辅音两类)，并在此基础上辨别音节(元音和辅音的组合)和音节序列(陈钰, 张丹丹, 2020)。新生儿能够同时辨别母语和外语的音素，这也是此发展阶段最独特的语言能力(与婴幼儿、儿童和成人相比)。采用习惯化-去习惯化范式，Moon 等(2013)在一项经典的发展语言学研究中发现，新生儿在母语和外语条件下均能辨别元音，且对母语元音的辨别能力更强，后者提示了胎儿期学习的作用，因为胎儿在孕 24 周龄的时候就可以听见妈妈周围以及妈妈自己说出的母语了。行为学研究还发现，新生儿能区分不同语种的句子(Ramus et al., 2000)，并分辨音节(Bertoncini et al., 1987)以及音节的重音模式(Sansavini et al., 1997)。

除了行为学层面的观察，不少脑科学研究也直接证明了新生儿具有极强的对语音要素的辨别能力。以 MMR 为指标的脑电或脑磁研究利用 oddball 范式发现，新生儿大脑能区分元音(Cheour-Luhtanen et al., 1995; Kostilainen et al., 2020; Kujala et al., 2004; Partanen et al., 2013)、元音的音高(Kujala et al., 2004)、辅音(Mahmoudzadeh et al., 2017; Partanen et al., 2013)，且 MMR 的潜伏期在左半球比右半球更短(Mahmoudzadeh et al., 2017)。fNIRS 研究发现，新生儿的颞叶、额叶及顶叶可区分元音(Benavides-Varela et al., 2012)；仅孕 30 周龄的早产新生儿即表现出语言的左侧化优势，他们的左侧颞叶对音节的神经响应比右侧更快、更持久，左侧额下回可区分辅音，但无法区分说话人的性别(Mahmoudzadeh et al., 2013)。此外，脑观测研究发现新生儿大脑能感知和辨别音节序列：他们对音节序列的首音节产生更大的脑电负波(Teinonen et al., 2009)；双侧颞叶和左侧

额下回能区分由三个不同音节(分别用 ABC 指代)组成的三个不同序列 ABB、AAB 和 ABC (Gervain et al., 2008, 2012); 在音节序列中交换首尾音节比交换中间音节会更多地激活颞叶和额叶(Ferry et al., 2016)。新生儿这种对音节序列结构的感知和辨别是新生儿和婴儿阶段进行语音流词汇切分和语言统计学习的基础。

4　新生儿对语音的学习

上述新生儿语音感知和音素辨别研究, 或利用出生前的语言暴露环境被动观测胎儿的语言学习(例如 Moon et al., 2013), 或仅在单个时间点考察新生儿的语音感知能力(上述除 Moon 外的所有研究)。至今仅发现一项胎儿研究(Partanen et al., 2013)采用了语音学习材料并观测了学习引起的新生儿脑功能的改变: 实验者让胎儿在孕 29 周至出生前, 每天收听 8 分钟的音节序列(含标准刺激/tatata/、元音变体/ta**to**ta/、音高变体/ta**tã**ta/), 结果发现胎儿出生后, 学习组新生儿对学习过的音高变体产生了比控制组更大的 MMR 波幅, 但在元音变体条件未发现组间差异。该研究既表明胎儿阶段的学习可产生语音记忆表征, 又提示出生前的学习具有一定的局限性。

至今仅有两项研究通过观测和对比新生儿语音学习前后的大脑活动, 揭示了学习引起的大脑可塑性改变。第一项研究(Cheour et al., 2002)让新生儿在夜间睡眠时收听 2.5~5 小时的元音材料(/y/和/i/), 并以标准刺激/y/、偏差刺激/i/和/y/i/在 oddball 范式中采用脑电方法测试学习效果。结果发现, 虽然学习前新生儿即可区分单元音/y/和/i/, 但只有经过夜间学习才能在次日清晨分辨/y/和复合元音/y/i/, 且学习后单元音/i/诱发的 MMR 波幅也比学习前更大。同时该研究还发现, 新生儿的这一学习效应至少能保持到次日晚, 并可推广至不同音高的相同元音, 但不能推广到未学习的元音材料。第二项研究(Wu et al., 2022)采用 fNIRS 考察了元音学习(收听正时序和逆时序播放的元音材料)对新生儿大脑皮层的可塑性改变。结果发现与对照组相比, 学习组新生儿的双侧额叶(额下回)在 5 小时的学习结束时对学习过的元音产生了更快的神经响应(与学习过的对照音——逆时序元音相比); 学习结束后经 2 小时的睡眠, 大脑的双侧颞上回、缘上回, 以及左侧顶下脑区对学习过的元音激活更强(与对照音相比)。值得注意的是, Wu 等(2022)的研究还发现, 新生儿在语音学习之前并不能区分元音和对照音, 这似乎与此前的研究(例如 Moon et al., 2013)发现的新生儿具有元音辨别能力相矛盾。这可能是因为此前的研究采用了带有韵律信息的语言材料(注: 韵律又被称为“语言的音乐”, 它由音调、响度、语速和停顿等特征组合构成)。例如, 有的研究采用了韵律特征各异的元音材料(Moon et al., 2013), 还有的研究甚至采用了给婴儿讲故事时的“妈妈语” (Peña et al., 2003; Sato et al., 2012), 后者是成人与婴儿交流时采用的抑扬顿挫的特殊说话方式(含丰富的韵律信息)。考虑到新生儿大脑对语音韵律的高敏感性(Zhang et al., 2019; 张丹丹 等, 2019, 2023), 这些研究观察到的新生儿对元音的辨别可能实质是韵律辨别。与此不同, Wu 等(2022)的研究严格控制了语音材料的韵律特征(见该研究附件材料), 发现刚出生的新生儿不能分辨正时序和逆时序播放的元音, 但经过了数小时的语音学习后, 他们便具有了元音辨别能力。

此外, 上述三项语音学习研究(Cheour et al., 2002; Partanen et al., 2013; Wu et al., 2022)仅考察了元音学习; 并且虽然两项新生儿研究均提示睡眠对语音学习有重要影响(Cheour et al., 2002; Wu et al., 2022), 但由于实验未对睡眠进行操纵, 尚无法确定睡眠对新生儿语言学习的记忆巩固作用。

5　早期语言发展对自闭症的潜在预测价值

自闭症是幼儿时期最主要的神经发育性疾病, 该病以社会交往障碍、语言交流等沟通障碍、刻板和重复性行为为主要特征, 严重影响患儿终身的社会功能和生活质量(American Psychiatric Association, 2013), 目前报告的全球平均患病率为 1%~2% (Hirota & King, 2023; World Health Organization, 2023; Zeidan et al., 2022)。语言发展障碍是自闭症的主要问题之一, 患儿不但常表现出接受性和表达性语言能力的下降(Belteki et al., 2022), 他们位于颞叶和额叶的语言加工脑网络也存在明显的结构和功能异常(Tryfon et al., 2018)。已知早诊断和早干预可不同程度地改善患儿的症状和预后, 但目前尚无研究直接考察新生儿语言发展与自闭症的关系。本节主要综述婴儿阶段的

相关研究，重点关注对自闭症诊断具有预测作用的纵向追踪研究。这些纵向研究的对象通常为自闭症高风险(high risk for autism, HRA)婴儿，即具有遗传风险(家族病史)、脑结构或功能异常、母孕期不利因素(高龄、先兆流产、病毒感染、药物滥用、出生窒息等)的婴儿(Hirota & King, 2023)。

已有的HRA婴儿纵向追踪研究表明，语言的行为学指标通常在1岁以后才显示出对自闭症的预测作用，而语言加工的脑功能或结构指标在婴儿3月龄甚至更早时就体现出了预测价值(Ayoub et al., 2022; Clairmont et al., 2021; Molnar-Szakacs et al., 2021)。至今发现了四项对HRA婴儿语言发展脑观测的纵向追踪研究，其中三项表明了婴儿期语言脑指标对自闭症的预测作用。Liu等(2020)采用静息态功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现，1.5月龄HRA婴儿语言脑网络的功能连接弱于健康对照组；且发展到9月龄时，健康组婴儿主要增强了听觉皮层和海马之间的功能连接，而HRA婴儿则增强了听觉皮层和躯体感觉皮层间的功能连接。随后该课题组用fMRI继续考察了9月龄婴儿收听含统计学和韵律线索的语音时的脑活动(Liu et al., 2021)，发现HRA组比健康对照组在左侧颞叶和杏仁核的激活减弱，双侧初级听觉皮层和右侧前脑岛间的功能连接减弱，且这些语音加工任务中的神经指标可预测3岁时HRA组被试的自闭症症状。Pecukonis等(2021)利用fNIRS考察了6月龄婴儿收听音节序列时的脑活动，发现3岁时确诊为自闭症的HRA组婴儿在双侧额叶和颞叶前部比健康对照组和3岁时未确诊为自闭症的HRA组婴儿的激活更弱，这提示6月龄时语音加工的额叶和颞叶激活程度可有效预测自闭症。Righi等(2014)采用脑电考察了12月龄婴儿收听语音时额叶与颞/顶叶之间的功能连接，发此语言脑网络连接在健康对照组、3岁时未确诊为自闭症的HRA组、3岁时确诊为自闭症的HRA组这三组婴儿中的强度依次减弱。该研究表明12月龄时语音加工的语言脑网络连接强度可为3岁时自闭症的诊断和症状严重程度提供有价值的预测信息。此外，非纵向研究还发现了HRA婴儿对重复音节的习惯化减弱：与健康对照婴儿表现出的习惯化不同，重复音节能持续激活3月龄HRA婴儿的双侧颞叶(Edwards et al., 2017)，并在9月龄HRA婴儿的额叶诱发波幅无衰减的P150成分(Seery et al., 2014)。另外，采用非语言材料的fMRI研究还发现，4~7月龄HRA婴儿对人类的声音更不敏感，右侧颞叶和内侧额叶在人类声音条件的激活弱于健康对照婴儿(Blasi et al., 2015; Braukmann et al., 2018)。

语言加工的大脑偏侧化也对自闭症具有预测作用。针对儿童和成人的综述表明，自闭症患者语言加工的左偏侧化往往减弱或消失(Lindell, 2020)，甚至在核心语言区(颞上回和额下回)表现为右偏侧化(Herringshaw et al., 2016)。至今发现了五项基于语言偏侧化的HRA婴儿纵向追踪研究，其中三项表明了婴儿期语言偏侧化指标对自闭症的预测作用。Seery等(2013)的脑电研究发现，音节诱发的慢波在健康对照婴儿从6月龄到12月龄期间发展出了典型的左偏侧化，而HRA婴儿则在半年中无此改变。类似的，Keehn等(2013)采用fNIRS考察了3~12月龄9个月期间婴儿加工音节序列时脑功能连接的变化，发现3月龄HRA婴儿左半球语言区的功能连接随年龄逐渐减弱，到12月龄时已显著弱于健康对照组。Finch等(2017)在12月龄婴儿的辅音辨别任务中发现，那些3岁确诊为自闭症的HRA婴儿在12月龄时的MMR即表现出了右偏侧化，而12月龄的健康对照组则具有左偏侧化的MMR。因此，婴儿期在音素辨别任务中的MMR偏侧化可能是自闭症的有效预测指标。弓状束是连接核心语言区Broca区(在额下回)和Wernicke区(在颞上回)的神经通路。两项MRI弥散加权成像研究发现：1.5月龄健康对照组婴儿的弓状束表现为左偏侧化，而HRA组则表现为右偏侧化，且弓状束的偏侧化可预测3岁时的自闭症症状(Liu et al., 2019)；从6月龄起，那些2岁确诊为自闭症的HRA婴儿的以弓状束为核心的语言脑网络连接就已弱于健康对照组，且HRA婴儿的语言脑网络连接强度可预测2岁时的自闭症症状(Lewis et al., 2017)。此外采用非语言材料的fNIRS研究还发现，与健康对照组和3岁未诊断为抑郁症的HRA组相比，那些3岁时确诊为自闭症的HRA患儿在他们4~6月龄时，其左侧颞叶对人类声音的激活减弱、对非人类声音的激活增强，且此偏侧化异常对3岁自闭症症状有预测作用(Lloyd-Fox et al., 2018)。

上述HRA婴儿研究已充分表明了早期语言

发展对自闭症的预测价值。同时我们发现, 这些婴儿研究关注的脑指标以及采用的语音感知和辨别任务又完全可以在新生儿阶段实现(参见本文2~4 节的新生儿研究综述)。已知年龄越小, 大脑发育的可塑性越大, 因此如果在新生儿期就获取语言加工的脑神经指标, 构建反映个体语言能力形成和发展的最早期行为−脑特征指标体系, 有望为自闭症的早诊断提供最具时间收益的个体化预警参数。

6 研究展望

综上所述, 目前针对新生儿语音感知、辨别和学习的研究表明: 1)新生儿存在语音感知偏好, 他们更喜欢语音、母语及母亲的声音, 并表现出大脑的左偏侧化; 2)新生儿具有独特的音素辨别能力, 他们的大脑不但可区分所有语种的元音、辅音, 而且已经能辨别相对复杂的音节和音节序列; 3)新生儿阶段的语音学习会引起大脑语言神经网络的可塑性改变。此外有不少婴儿研究发现, 早期语言发展的脑指标对自闭症具有显著的预警和诊断价值。基于已有研究尚存在的不足, 我们认为在新生儿语言加工的基础研究和临床转化研究领域, 有以下三个问题需要解决。

第一, 语音材料的韵律特征没有得到关注和重视。已有的绝大多数新生儿研究没有控制语音材料在条件间的韵律特征差异, 导致韵律因素至少在三个方面对已有结果和结论造成潜在干扰。1)新生儿的音素辨别可能受韵律感知的干扰。前文已述及, 有的新生儿研究选用了音高不同的元音(例如 Moon et al., 2013)或者韵律信息丰富的“妈妈语”作为实验材料(例如 Peña et al., 2003; Sato et al., 2012), 发现新生儿具有元音辨别的能力; 而 Wu 等(2022)在控制了韵律因素后发现, 刚出生的新生儿并不能辨别元音, 但经 5 小时的元音学习他们的大脑可迅速表征并辨别元音。2)语音中的韵律信息还让我们对胎儿语言学习的有效性产生了质疑。唯一的一项胎儿语音学习研究发现(Partanen et al., 2013), 胎儿仅对音高产生了学习效应, 而对元音的学习效应不显著, 这可能表明胎儿仅能学习语音的韵律而非音素。类似的, 与外语相比, 新生儿不但偏好母语而且偏好低通滤波的母语(Mehler et al., 1988), 这提示母语偏好可能是胎儿对母语中的韵律线索进行学习造成的(注: 胎儿听到的是经母体组织低通滤波后、以韵律信息为主的语音)。3)新生儿大脑对语言的左偏侧化可能受到韵律因素的影响。偏侧化是大脑功能特异性的体现, 语言的大脑左半球优势是语言界最公认的结论之一(Friederici, 2011; Hickok & Poeppel, 2007), 语言的左半球特异化是与生俱来的吗? 如果新生儿研究没有发现语言的左侧化优势, 那可能是由于语言材料中韵律因素的干扰造成的, 因为新生儿对韵律的加工是右偏侧化的(Cheng et al., 2012; Telkemeyer et al., 2009; Zhang et al., 2019; 张丹丹 等, 2023)。例如, Perani 等(2011)采用“妈妈语”讲故事的材料考察新生儿语言加工, 发现语音条件(与静息态相比)激活了新生儿双侧大脑并表现为右偏侧化; May 等(2011)对语音材料进行了低通滤波, 结果发现母语(与外语相比)激活了新生儿的双侧语言区。这两项研究之所以未能发现语言的左偏侧化, 可能是因为语音材料的韵律特征被凸显和放大了。值得借鉴的是, Arimitsu 等(2011)分离了语音材料的音素和韵律特征, 发现新生儿左脑(缘上回)主要对元音辨别敏感, 而右脑(颞叶)主要对韵律辨别敏感。总之, 鉴于韵律对语言研究在上述三个方面的干扰, 我们强烈建议未来的研究严格控制语音材料的韵律因素, 重新审视和验证新生儿的语音感知偏好、对元音和辅音的音素辨别能力、语言加工的大脑偏侧化, 以及胎儿语音学习等领域的已有结论。除了排除韵律对语言研究的影响, 我们还可以深入考察韵律加工对语言学习的影响。例如, 有研究发现富含韵律的“妈妈语”可促进 7 月龄婴儿对语音的有效编码(Kalashnikova et al., 2018), 也能促进成人的词汇学习(Ma et al., 2020)。富含韵律的语音材料是否能帮助新生儿更快更好地学习语言呢? 这是一个有价值的研究方向。

第二, 新生儿语音学习的认知神经机制尚不清楚。本文所提及的新生儿语音加工研究几乎全采用习惯化−去习惯化范式(行为学和 fNIRS 研究)或 odd-ball 范式(以 MMR 为指标的脑电和脑磁研究), 在单个时间点考察新生儿的语音感知和分辨能力。而在语音学习方面, 至今仅发现两项研究考察了新生儿对元音的学习(Cheour et al., 2002; Wu et al., 2022)。已知新生儿对元音和辅音的感知存在一定的差异(Benavides-Varela et al., 2012), 那么新生儿是如何学习辅音的? 他们学习辅音时

大脑会发生哪些神经可塑性改变？我们建议未来研究参考 Wu 等(2022)的实验范式，采用韵律特征严格控制的语音材料，借助脑电和 fNIRS 技术考察新生儿对辅音的学习。除了辅音学习，语言学习方面同等重要的问题是：睡眠对新生儿语音学习的作用是什么？新生儿每天睡眠近 20 个小时，他们在清醒时对语音要素的大脑表征能否通过睡眠得到巩固和加强？已知成人睡眠有助于巩固新知识和新技能，从而对学习内容产生稳定和持久的记忆表征(Diekelmann & Born, 2010)，此过程称为睡眠依赖性记忆巩固(Stickgold, 2005)。大量研究发现，短时间的非快速眼动睡眠(non-rapid eye movement, NREM)对陈述性记忆(包括情景记忆和语义记忆)具有显著的巩固作用(Rasch et al., 2007)，记忆巩固效果与睡眠脑电慢波密切相关(Diekelmann et al., 2009)。然而，新生儿仅具有 NREM 睡眠的雏形(称为“安静睡眠”阶段)，尚未发展出睡眠慢波(注：睡眠慢波最早只能在 2~4 月龄婴儿中观察到; Fattinger et al., 2014)。至今报道的睡眠依赖性记忆巩固最小发生在 3 月龄(Horváth et al., 2018)，而睡眠对语言学习的巩固效应最小发现在 6 月龄(Friedrich et al., 2017; Simon et al., 2017)。我们建议未来研究通过操纵睡眠，或利用脑电技术分析睡眠不同阶段的占比，揭示睡眠特别是安静睡眠阶段对新生儿语言学习的记忆巩固作用。进一步的，新生儿睡眠对语言学习进行记忆巩固的神经机制是什么？标靶记忆重激活(targeted memory reactivation, TMR; Rudoy et al., 2009)是在睡眠期间调控记忆加工的有效方法，该过程显著激活海马旁回、丘脑、内侧颞叶等记忆相关脑区(van Dongen et al., 2012)，近年被广泛用于考察睡眠依赖性记忆巩固的神经机制(Hu et al., 2020)。TMR 范式已成功应用于 2 岁幼儿的情景记忆(Prabhakar et al., 2018)和单词学习研究(Johnson et al., 2021)。我们建议后续研究采用 TMR 范式，在新生儿睡眠时对语音学习的记忆加工进行调控，借助脑电或 fMRI 指标揭示新生儿睡眠依赖性记忆巩固的神经机制。了解和掌握新生儿语言学习的机制和特征，可以为此发展阶段语言学习的干预提供科学依据。

第三，新生儿语言发展的临床转化研究尚属空白。新生儿语言加工的脑指标可否预测自闭症？通过本综述发现，新生儿和婴儿对语言的敏感可能是天生的。利用语言相关的脑指标有望在婴儿甚至新生儿阶段就发现自闭症等神经发育性疾病的征兆(而语言的行为学指标在 1~2 岁才具有预测价值)，从而实现自闭症的早诊断和早干预。目前仅一项研究发现，半岁之前的语言脑指标可预测 3 岁时自闭症的诊断和症状(1.5 月龄：Liu et al., 2019)。其他的数项 HRA 婴儿研究或发现了 6 月龄及更晚阶段的预测指标(Finch et al., 2017; Lewis et al., 2017; Liu et al., 2021; Pecukonis et al., 2021; Righi et al., 2014)，或只发现了自闭症高低风险组别之间的差异，未提供自闭症诊断的预测性信息(Edwards et al., 2017; Keehn et al., 2013; Liu et al., 2020; Seery et al., 2013, 2014)。虽然至今未见到任何 HRA 新生儿语言加工的报道，但我们认为，这些已发现的婴儿阶段的语言相关脑指标(例如，语音加工时的语言脑网络激活水平和连接强度、音素辨别诱发的 MMR 偏侧化、弓状束的偏侧化)完全可以在新生儿阶段获得。因此，我们建议未来研究以 HRA 新生儿为纵向追踪对象，尝试利用出生后最早期的语言发展脑指标，对自闭症等神经发育性疾病进行预测和预警，将疾病预防和治疗的时间窗提前至生命开始的最初几个月。目前这一临床转化研究存在的难点有二。一是由于我国新生儿出生率快速下降引起的可纳入追踪的高危新生儿数量不足，从而研究周期极大延长，这点或许可以通过大规模多中心临床试验基地协调解决。二是新生儿期单个脑指标对 3 岁时疾病诊断的预测效力可能有限，这就需要我们在新生儿阶段采集语音偏好、音素辨别、语言偏侧化优势等多模态的脑观测数据，并结合婴儿期的临床评估等追踪数据建立完整的疾病风险评估系统。

参考文献

陈钰，莫李澄，毕蓉，张丹丹. (2020). 新生儿语音感知的神经基础：元分析. *心理科学进展, 28*(8), 1273−1281.

陈钰，张丹丹. (2020). 新生儿语音感知的脑机制. *心理科学, 43*(4), 844−849.

于文汶，陈淑美，沈钧石，张丹丹. (2022). 婴儿对语音和非语音的感知：认知和神经机制. *心理学探新*, *42*(3), 201−209.

张丹丹，陈钰，敖翔，孙国玉，刘黎黎，侯新琳，陈玉明. (2019). 新生儿情绪性语音加工的正性偏向——来自事件相关电位的证据. *心理学报, 51*(4), 462−470.

张丹丹, 李宜伟, 于文汶, 莫李澄, 彭程, 刘黎黎. (2023). 0~1 岁婴儿情绪偏向的发展: 近红外成像研究. *心理学报, 55*(6), 920−929.

周玉, 张丹丹. (2017). 婴儿情绪与社会认知相关的听觉加工. *心理科学进展, 25*(1), 67−75.

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596

Arimitsu, T., Uchida-Ota, M., Yagihashi, T., Kojima, S., Watanabe, S., Hokuto, I., ... Minagawa-Kawai, Y. (2011). Functional hemispheric specialization in processing phonemic and prosodic auditory changes in neonates. *Frontiers in Psychology*, *2*, 202. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00202

Ayoub, M. J., Keegan, L., Tager-Flusberg, H., & Gill, S. V. (2022). Neuroimaging techniques as descriptive and diagnostic tools for infants at risk for autism spectrum disorder: A systematic review. *Brain Sciences*, *12*(5), 602. https://doi.org/10.3390/brainsci12050602

Beauchemin, M., González-Frankenberger, B., Tremblay, J., Vannasing, P., Martínez-Montes, E., Belin, P., ... Lassonde, M. (2011). Mother and stranger: An electrophysiological study of voice processing in newborns. *Cerebral Cortex*, *21*(8), 1705−1711. https://doi.org/10.1093/cercor/bhq242

Belteki, Z., Lumbreras, R., Fico, K., Haman, E., & Junge, C. (2022). The vocabulary of infants with an elevated likelihood and diagnosis of autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis of infant language studies using the CDI and MSEL. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(3), 1469. https://doi.org/10.3390/ijerph19031469

Benavides-Varela, S., Hochmann, J. -R., Macagno, F., Nespor, M., & Mehler, J. (2012). Newborn's brain activity signals the origin of word memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(44), 17908−17913. https://doi.org/10.1073/pnas.1205413109

Bertoncini, J., Bijeljac-Babic, R., Blumstein, S. E., & Mehler, J. (1987). Discrimination in neonates of very short CVs. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *82*(1), 31−37. https://doi.org/10.1121/1.395570

Bisiacchi, P., & Cainelli, E. (2022). Structural and functional brain asymmetries in the early phases of life: A scoping review. *Brain Structure & Function*, *227*(2), 479−496. https://doi.org/10.1007/s00429-021-02256-1

Blasi, A., Lloyd-Fox, S., Sethna, V., Brammer, M. J., Mercure, E., Murray, L., ... Johnson, M. H. (2015). Atypical processing of voice sounds in infants at risk for autism spectrum disorder. *Cortex*, *71*, 122−133. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.06.015

Braukmann, R., Lloyd-Fox, S., Blasi, A., Johnson, M. H., Bekkering, H., Buitelaar, J. K., & Hunnius, S. (2018). Diminished socially selective neural processing in 5-month-old infants at high familial risk of autism. *The European Journal of Neuroscience*, *47*(6), 720−728. https://doi.org/10.1111/ejn.13751

Cheng, Y., Lee, S. -Y., Chen, H. -Y., Wang, P. -Y., & Decety, J. (2012). Voice and emotion processing in the human neonatal brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(6), 1411−1419. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00214

Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., & Näätänen, R. (1998). Development of language-specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience*, *1*(5), 351−353. https://doi.org/10.1038/1561

Cheour, M., Martynova, O., Näätänen, R., Erkkola, R., Sillanpää, M., Kero, P., ... Hämäläinen, H. (2002). Speech sounds learned by sleeping newborns. *Nature*, *415*(6872), 599−600. https://doi.org/10.1038/415599b

Cheour-Luhtanen, M., Alho, K., Kujala, T., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., ... Näätänen, R. (1995). Mismatch negativity indicates vowel discrimination in newborns. *Hearing Research*, *82*(1), 53−58. https://doi.org/10.1016/0378-5955(94)00164-l

Clairmont, C., Wang, J., Tariq, S., Sherman, H. T., Zhao, M., & Kong, X. -J. (2021). The value of brain imaging and electrophysiological testing for early screening of autism spectrum disorder: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, *15*, 812946. https://doi.org/10.3389/fnins.2021.812946

DeCasper, A. J., & Fifer, W. P. (1980). Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voices. *Science*, *208*(4448), 1174−1176. https://doi.org/10.1126/science.7375928

Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*(2), 114−126. https://doi.org/10.1038/nrn2762

Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, *13*(5), 309−321. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2008.08.002

Edwards, L. A., Wagner, J. B., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2017). Differences in neural correlates of speech perception in 3 month olds at high and low risk for autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *47*(10), 3125−3138. https://doi.org/10.1007/s10803-017-3222-1

Fattinger, S., Jenni, O. G., Schmitt, B., Achermann, P., & Huber, R. (2014). Overnight changes in the slope of sleep slow waves during infancy. *Sleep*, *37*(2), 245−253. https://doi.org/10.5665/sleep.3390

Ferry, A. L., Fló, A., Brusini, P., Cattarossi, L., Macagno, F., Nespor, M., & Mehler, J. (2016). On the edge of language acquisition: Inherent constraints on encoding multisyllabic sequences in the neonate brain. *Developmental Science*, *19*(3), 488−503. https://doi.org/10.1111/desc.12323

Finch, K. H., Seery, A. M., Talbott, M. R., Nelson, C. A., & Tager-Flusberg, H. (2017). Lateralization of ERPs to

speech and handedness in the early development of autism spectrum disorder. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *9*, 4. https://doi.org/10.1186/s11689-017-9185-x

Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: From structure to function. *Physiological Reviews*, *91*(4), 1357−1392. https://doi.org/10.1152/physrev.00006.2011

Friedrich, M., Wilhelm, I., Mölle, M., Born, J., & Friederici, A. D. (2017). The sleeping infant brain anticipates development. *Current Biology*, *27*(15), 2374−2380.e3. https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.070

Gervain, J., Berent, I., & Werker, J. F. (2012). Binding at birth: The newborn brain detects identity relations and sequential position in speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(3), 564−574. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00157

Gervain, J., Macagno, F., Cogoi, S., Peña, M., & Mehler, J. (2008). The neonate brain detects speech structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(37), 14222−14227. https://doi.org/10.1073/pnas.0806530105

Hepper, P. G., & Shahidullah, B. S. (1994). The development of fetal hearing. *Fetal and Maternal Medicine Review*, *6*(3), 167−179. https://doi.org/10.1017/S0965539500001108

Herringshaw, A. J., Ammons, C. J., DeRamus, T. P., & Kana, R. K. (2016). Hemispheric differences in language processing in autism spectrum disorders: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Autism Research*, *9*(10), 1046−1057. https://doi.org/10.1002/aur.1599

Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews. Neuroscience*, *8*(5), 393−402. https://doi.org/10.1038/nrn2113

Hirota, T., & King, B. H. (2023). Autism spectrum disorder: A review. *JAMA*, *329*(2), 157−168. https://doi.org/10.1001/jama.2022.23661

Horváth, K., Hannon, B., Ujma, P. P., Gombos, F., & Plunkett, K. (2018). Memory in 3-month-old infants benefits from a short nap. *Developmental Science*, *21*(3), e12587. https://doi.org/10.1111/desc.12587

Hu, X., Cheng, L. Y., Chiu, M. H., & Paller, K. A. (2020). Promoting memory consolidation during sleep: A meta-analysis of targeted memory reactivation. *Psychological Bulletin*, *146*(3), 218−244. https://doi.org/10.1037/bul0000223

Johnson, E. G., Mooney, L., Graf Estes, K., Nordahl, C. W., & Ghetti, S. (2021). Activation for newly learned words in left medial-temporal lobe during toddlers' sleep is associated with memory for words. *Current Biology*, *31*(24), 5429−5438.e5. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.058

Kalashnikova, M., Peter, V., di Liberto, G. M., Lalor, E. C., & Burnham, D. (2018). Infant-directed speech facilitates seven-month-old infants' cortical tracking of speech. *Scientific Reports*, *8*(1), 13745. https://doi.org/10.1038/s41598-018-32150-6

Keehn, B., Wagner, J. B., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2013). Functional connectivity in the first year of life in infants at-risk for autism: A preliminary near-infrared spectroscopy study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 444. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00444

Kostilainen, K., Partanen, E., Mikkola, K., Wikström, V., Pakarinen, S., Fellman, V., & Huotilainen, M. (2020). Neural processing of changes in phonetic and emotional speech sounds and tones in preterm infants at term age. *International Journal of Psychophysiology*, *148*, 111−118. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.10.009

Kotilahti, K., Nissilä, I., Näsi, T., Lipiäinen, L., Noponen, T., Meriläinen, P., Huotilainen, M., & Fellman, V. (2010). Hemodynamic responses to speech and music in newborn infants. *Human Brain Mapping*, *31*(4), 595−603. https://doi.org/10.1002/hbm.20890

Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron, 67*, 713−727.

Kujala, A., Huotilainen, M., Hotakainen, M., Lennes, M., Parkkonen, L., Fellman, V., & Näätänen, R. (2004). Speech-sound discrimination in neonates as measured with MEG. *Neuroreport*, *15*(13), 2089−2092. https://doi.org/10.1097/00001756-200409150-00018

Lewis, J. D., Evans, A. C., Pruett, J. R., Botteron, K. N., McKinstry, R. C., Zwaigenbaum, L., ... Infant Brain Imaging Study Network. (2017). The emergence of network inefficiencies in infants with autism spectrum disorder. *Biological Psychiatry*, *82*(3), 176−185. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.03.006

Li, G., Nie, J., Wang, L., Shi, F., Lyall, A. E., Lin, W., Gilmore, J. H., & Shen, D. (2014). Mapping longitudinal hemispheric structural asymmetries of the human cerebral cortex from birth to 2 years of age. *Cerebral Cortex*, *24*(5), 1289−1300. https://doi.org/10.1093/cercor/bhs413

Lindell, A. K. (2020). Does atypical lateralization influence comorbid psychopathology in children with autism spectrum disorders? *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, *4*(1), 85−96. https://doi.org/10.1007/s41252-019-00147-5

Liu, J., Okada, N. J., Cummings, K. K., Jung, J., Patterson, G., Bookheimer, S. Y., Jeste, S. S., & Dapretto, M. (2020). Emerging atypicalities in functional connectivity of language-related networks in young infants at high familial risk for ASD. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *45*, 100814. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100814

Liu, J., Tsang, T., Jackson, L., Ponting, C., Jeste, S. S., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2019). Altered lateralization of dorsal language tracts in 6-week-old infants at risk for autism. *Developmental Science*, *22*(3), e12768. https://doi.org/10.1111/desc.12768

Liu, J., Tsang, T., Ponting, C., Jackson, L., Jeste, S. S., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2021). Lack of neural

evidence for implicit language learning in 9-month-old infants at high risk for autism. *Developmental Science*, *24*(4), e13078. https://doi.org/10.1111/desc.13078

Lloyd-Fox, S., Blasi, A., Pasco, G., Gliga, T., Jones, E. J. H., Murphy, D. G. M., ... BASIS Team. (2018). Cortical responses before 6 months of life associate with later autism. *The European Journal of Neuroscience*, *47*(6), 736−749. https://doi.org/10.1111/ejn.13757

Ma, W., Fiveash, A., Margulis, E. H., Behrend, D., & Thompson, W. F. (2020). Song and infant-directed speech facilitate word learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *73*(7), 1036−1054. https://doi.org/10.1177/1747021819888982

Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, J., Grebe, R., & Wallois, F. (2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(12), 4846−4851. https://doi.org/10.1073/pnas.1212220110

Mahmoudzadeh, M., Wallois, F., Kongolo, G., Goudjil, S., & Dehaene-Lambertz, G. (2017). Functional maps at the onset of auditory inputs in very early preterm human neonates. *Cerebral Cortex*, *27*(4), 2500−2512. https://doi.org/10.1093/cercor/bhw103

May, L., Byers-Heinlein, K., Gervain, J., & Werker, J. F. (2011). Language and the newborn brain: Does prenatal language experience shape the neonate neural response to speech? *Frontiers in Psychology*, *2*, 222. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00222

May, L., Gervain, J., Carreiras, M., & Werker, J. F. (2018). The specificity of the neural response to speech at birth. *Developmental Science*, *21*(3), e12564. https://doi.org/10.1111/desc.12564

Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoncini, J., & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, *29*(2), 143−178. https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90035-2

Molnar-Szakacs, I., Kupis, L., & Uddin, L. Q. (2021). Neuroimaging markers of risk and pathways to resilience in autism spectrum disorder. *Biological Psychiatry. Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *6*(2), 200−210. https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.06.017

Moon, C., Cooper, R., & Fifer, W. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior & Development*, *16*(4), 495−500. https://doi.org/10.1016/0163-6383(93)80007-U

Moon, C., Lagercrantz, H., & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth: A two-country study. *Acta Paediatrica*, *102*(2), 156−160. https://doi.org/10.1111/apa.12098

Partanen, E., Kujala, T., Näätänen, R., Liitola, A., Sambeth, A., & Huotilainen, M. (2013). Learning-induced neural plasticity of speech processing before birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(37), 15145−15150. https://doi.org/10.1073/pnas.1302159110

Pecukonis, M., Perdue, K. L., Wong, J., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2021). Exploring the relation between brain response to speech at 6-months and language outcomes at 24-months in infants at high and low risk for autism spectrum disorder: A preliminary functional near-infrared spectroscopy study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *47*, 100897. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2020.100897

Peña, M., Maki, A., Kovacić, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., & Mehler, J. (2003). Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(20), 11702−11705. https://doi.org/10.1073/pnas.1934290100

Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Anwander, A., Spada, D., Baldoli, C., ... Friederici, A. D. (2011). Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(38), 16056−16061. https://doi.org/10.1073/pnas.1102991108

Prabhakar, J., Johnson, E. G., Nordahl, C. W., & Ghetti, S. (2018). Memory-related hippocampal activation in the sleeping toddler. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(25), 6500−6505. https://doi.org/10.1073/pnas.1805572115

Ramus, F., Hauser, M. D., Miller, C., Morris, D., & Mehler, J. (2000). Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science*, *288*(5464), 349−351. https://doi.org/10.1126/science.288.5464.349

Rasch, B., Büchel, C., Gais, S., & Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science*, *315*(5817), 1426−1429. https://doi.org/10.1126/science.1138581

Ratnarajah, N., Rifkin-Graboi, A., Fortier, M. V., Chong, Y. S., Kwek, K., Saw, S. -M., ... Qiu, A. (2013). Structural connectivity asymmetry in the neonatal brain. *NeuroImage*, *75*, 187−194. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.02.052

Righi, G., Tierney, A. L., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2014). Functional connectivity in the first year of life in infants at risk for autism spectrum disorder: An EEG study. *PloS One*, *9*(8), e105176. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105176

Rudoy, J. D., Voss, J. L., Westerberg, C. E., & Paller, K. A. (2009). Strengthening individual memories by reactivating them during sleep. *Science*, *326*(5956), 1079. https://doi.org/10.1126/science.1179013

Sansavini, A., Bertoncini, J., & Giovanelli, G. (1997). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Developmental Psychology*, *33*(1), 3−11. https://doi.org/10.1037//0012-1649.33.1.3

Sato, H., Hirabayashi, Y., Tsubokura, H., Kanai, M., Ashida, T., Konishi, I., ... Maki, A. (2012). Cerebral hemodynamics in newborn infants exposed to speech sounds: A whole-head optical topography study. *Human Brain Mapping*, *33*(9), 2092−2103. https://doi.org/10.1002/hbm.21350

Seery, A., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2014). Event-related potentials to repeated speech in 9-month-old infants at risk for autism spectrum disorder. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *6*(1), 43. https://doi.org/10.1186/1866-1955-6-43

Seery, A. M., Vogel-Farley, V., Tager-Flusberg, H., & Nelson, C. A. (2013). Atypical lateralization of ERP response to native and non-native speech in infants at risk for autism spectrum disorder. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *5*, 10−24. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.11.007

Simon, K. N. S., Werchan, D., Goldstein, M. R., Sweeney, L., Bootzin, R. R., Nadel, L., & Gómez, R. L. (2017). Sleep confers a benefit for retention of statistical language learning in 6.5month old infants. *Brain and Language*, *167*, 3−12. https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.05.002

Sket, G. M., Overfeld, J., Styner, M., Gilmore, J. H., Entringer, S., Wadhwa, P. D., Rasmussen, J. M., & Buss, C. (2019). Neonatal white matter maturation is associated with infant language development. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 434. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00434

Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, *437*(7063), 1272−1278. https://doi.org/10.1038/nature04286

Teinonen, T., Fellman, V., Näätänen, R., Alku, P., & Huotilainen, M. (2009). Statistical language learning in neonates revealed by event-related brain potentials. *BMC Neuroscience*, *10*, 21. https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-21

Telkemeyer, S., Rossi, S., Koch, S. P., Nierhaus, T., Steinbrink, J., Poeppel, D., Obrig, H., & Wartenburger, I. (2009). Sensitivity of newborn auditory cortex to the temporal structure of sounds. *The Journal of Neuroscience*, *29*(47), 14726−14733. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1246-09.2009

Tryfon, A., Foster, N. E. V., Sharda, M., & Hyde, K. L. (2018). Speech perception in autism spectrum disorder: An activation likelihood estimation meta-analysis. *Behavioural Brain Research*, *338*, 118−127. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.10.025

van Dongen, E. V., Takashima, A., Barth, M., Zapp, J., Schad, L. R., Paller, K. A., & Fernández, G. (2012). Memory stabilization with targeted reactivation during human slow-wave sleep. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(26), 10575−10580. https://doi.org/10.1073/pnas.1201072109

Vannasing, P., Florea, O., González-Frankenberger, B., Tremblay, J., Paquette, N., Safi, D., ... Gallagher, A. (2016). Distinct hemispheric specializations for native and non-native languages in one-day-old newborns identified by fNIRS. *Neuropsychologia*, *84*, 63−69. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.038

Vouloumanos, A., & Werker, J. F. (2007). Listening to language at birth: Evidence for a bias for speech in neonates. *Developmental Science*, *10*(2), 159−164. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00549.x

Werker, J. F., Yeung, H. H., & Yoshida, K. A. (2012). How do infants become experts at native-speech perception? *Current Directions in Psychological Science*, *21*(4), 221−226. https://doi.org/10.1177/0963721412449459

World Health Organization. (2023). Autism spectrum disorders.Fact sheet. Retrieved March 29, 2023, from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders

Wu, Y. J., Hou, X., Peng, C., Yu, W., Oppenheim, G. M., Thierry, G., & Zhang, D. (2022). Rapid learning of a phonemic discrimination in the first hours of life. *Nature Human Behaviour*, *6*(8), 1169−1179. https://doi.org/10.1038/s41562-022-01355-1

Zeidan, J., Fombonne, E., Scorah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., … Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, *15*(5), 778−790. https://doi.org/10.1002/aur.2696

Zhang, D., Chen, Y., Hou, X., & Wu, Y. J. (2019). Near-infrared spectroscopy reveals neural perception of vocal emotions in human neonates. *Human Brain Mapping*, *40*(8), 2434−2448. https://doi.org/10.1002/hbm.24534

Language processing in the newborn: Potential biomarkers for autism spectrum disorder

LI Sijin, WANG Tingdong, PENG Zhilin, ZHANG Dandan

(*Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu* 610066, *China*)

Abstract: Newborns utilize their auditory system to process and learn the various elements of language from birth. Examining the characteristics of language processing in newborns not only reveals the neurocognitive mechanisms of language function in the earliest stages of human development, but also provides valuable clues for an early warning and clinical diagnosis of neurodevelopmental disorders such as autism. This review article summarized the perception, discrimination, and learning of phonemes in newborns, as well as the potential role in predicting autism spectrum disorder. It was found that newborns have preferences for specific languages and possess unique phoneme discrimination abilities. Furthermore, brain functional and structural indices of language processing in infancy have predictive values for autism. Future research should focus on the following three issues: 1) Controlling the rhythm factors of materials, re-examining the characteristics of newborn language processing and brain lateralization issues; 2) Revealing the neurocognitive mechanisms of newborn language learning and the role of sleep in memory consolidation; 3) Tracking the language development of high-risk newborns with autism and establishing a disease risk assessment system so as to reveal the potential biomarkers for autism.

Keywords: newborn, native language preference, left lateralization, language development, autism spectrum disorder